



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08139151 A**(43) Date of publication of application: **31 . 05 . 96**

(51) Int. Cl.

**H01L 21/66**  
**G01R 31/26**  
**H01L 29/78**  
**H01L 21/336**

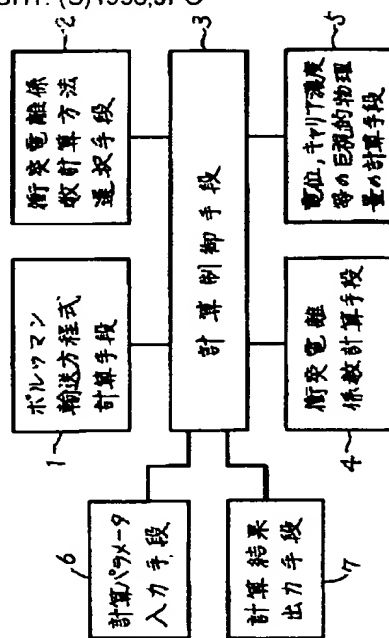
(21) Application number: **06276225**(22) Date of filing: **10 . 11 . 94**(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**(72) Inventor: **SONODA KENICHIRO**  
**KUNIKIYO TATSUYA**(54) **METHOD AND APPARATUS FOR DEVICE SIMULATION**

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To determine a highly accurate impact ionization coefficient in a short time by selecting one calculation system candidate for calculating an impact ionization coefficient which can best approximate an accurate impact ionization coefficient obtained according to a Boltzmann transport equation.

**CONSTITUTION:** After an impact ionization calculation method is selected by a selection means 2, an impact ionization coefficient is calculated by a calculation means 4 according to the selected impact ionization calculation method. A macro physical quantity calculating means 5 calculates macro physical quantities including potential, carrier concentration, carrier temperature and lattice temperature. A calculation parameter input means 6 reads in parameters concerning to the structure of a device to be analyzed or bias conditions. A calculation result output means 7 displays simulation results. A calculation control means 3 controls the device simulation generally. This constitution can provides highly accurate simulation results.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-139151

(43) 公開日 平成8年(1996)5月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/66

Z 7735-4M

G 0 1 R 31/26

G

H 0 1 L 29/78

21/336

H 0 1 L 29/78

3 0 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数28 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平6-276225

(22) 出願日 平成6年(1994)11月10日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 園田 賢一郎

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社ユー・エル・エス・アイ開発研究所内

(72) 発明者 国清 辰也

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会社ユー・エル・エス・アイ開発研究所内

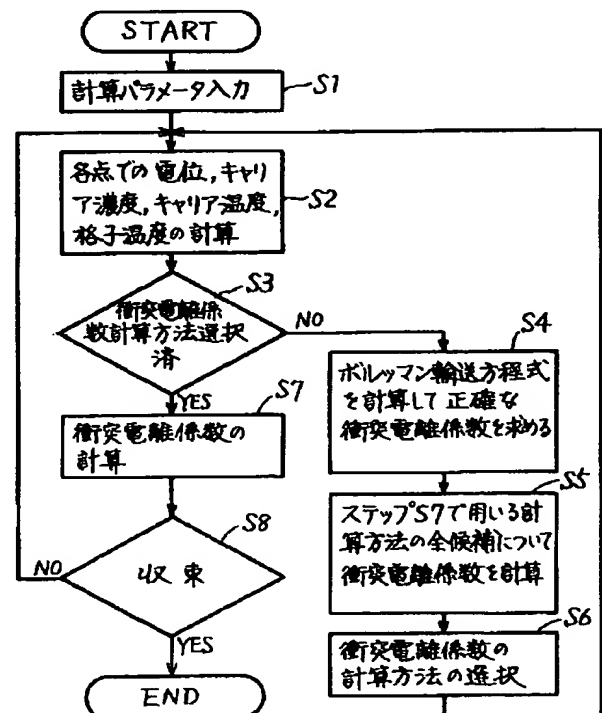
(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

(54) 【発明の名称】 デバイスシミュレーションの方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 あまり計算時間を増大させることなく高精度のシミュレーション結果を得ることができるデバイスシミュレーション方法および装置を提供する。

【構成】 デバイスシミュレーション方法および装置において、ボルツマン輸送方程式を解いて正確な衝突電離係数を求め、他の衝突電離係数計算方法のすべての計算方法候補を用いて衝突電離係数を計算し、ボルツマン輸送方程式によって得られた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を計算し得る計算方法候補の1つを選択し、その後は、その選択された計算方法を用いて衝突電離係数が求められる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 与えられた半導体デバイス内部の電位の下でボルツマン輸送方程式を用いて正確な衝突電離係数を求め、

前記ボルツマン輸送方程式以外の衝突電離係数計算方法の複数の候補のすべてを用いて衝突電離係数を計算し、前記ボルツマン輸送方程式によって得られた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を算出し得る前記計算方法候補の1つを選択し、

以後は、前記選択された計算方法を用いて衝突電離係数が求められることを特徴とするデバイスシミュレーション方法。

【請求項2】 前記計算方法候補は、以下の数式グループ候補（G1）～（G8）を含み、

$$\alpha = A \cdot \exp \left\{ -B \cdot \left( \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_0} \right) \right\} \quad \cdots (1)$$

$$B = \sum_{i=1}^{n_2} B_i \cdot (\lambda_i / \lambda)^i \quad \cdots (2)$$

$$B = \sum_{i=1}^{n_2} B_i \cdot \exp(\lambda_i / \lambda) \quad \cdots (3)$$

$$\lambda = a \sqrt{(\epsilon_{Si} / \epsilon_{ox}) \cdot t_{ox} \cdot x_j} \quad \cdots (4)$$

$$\lambda = b \cdot \xi / (d \xi / dx) \quad \cdots (5)$$

$$\xi = |E| \quad \cdots (6)$$

$$\xi = |E \cdot J| / |J| \quad \cdots (7)$$

$$\xi = w \quad \cdots (8)$$

ここで、A、a、b、B<sub>i</sub>、λ<sub>i</sub>およびξ<sub>0</sub>はフィッティングパラメータ、n<sub>1</sub>およびn<sub>2</sub>は有限の整数、Eは電界ベクトル、Jは電流ベクトル、wはキャリアの平均エネルギーまたはキャリア温度、ε<sub>Si</sub>は半導体基板の誘電率、ε<sub>ox</sub>はゲート絶縁膜の誘電率、t<sub>ox</sub>はゲート絶縁膜の厚さ、そしてx<sub>j</sub>はドレイン接合の深さを表わすことを特徴とする請求項1に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項3】 前記ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれ、電位とキャリア濃度はドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項4】 前記ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度およびキャリア温度はハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式とを連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項5】 前記ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度および格子温

2

\*（G1）：数式（1）、（2）、（4）および（6）

（G2）：数式（1）、（2）、（4）および（7）

（G3）：数式（1）、（2）、（4）および（8）

（G4）：数式（1）、（2）、（5）および（6）

（G5）：数式（1）、（2）、（5）および（7）

（G6）：数式（1）、（2）、（5）および（8）

（G7）：数式（1）、（3）、（4）および（6）

（G8）：数式（1）、（3）、（4）および（7）

（G9）：数式（1）、（3）、（4）および（8）

10 （G10）：数式（1）、（3）、（5）および（6）

（G11）：数式（1）、（3）、（5）および（7）

（G12）：数式（1）、（3）、（5）および（8）

【数1】

度は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項6】 前記ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項7】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の反復解法を用いて解かれ、電位とキャリア濃度はドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項8】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の反復解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度およびキャリア温度はハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項2に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項9】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の反復解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度および格

子温度は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項 1 0】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の反復解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項 1 1】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法を用いて解かれ、電位とキャリア濃度はドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項 1 2】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度およびキャリア温度はハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項 1 3】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度および格子温度は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

【請求項 1 4】 前記ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法を用いて解かれ、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算されることを特徴とする請求項 2 に記載のデバイスシミュレーション方法。

\*

$$a = A \cdot \exp \left\{ -B \cdot \left( \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_0} \right) \right\} \quad \cdots (1)$$

$$B = \sum_{i=n1}^{n2} B_i \cdot (\lambda_i / \lambda)^i \quad \cdots (2)$$

$$B = \sum_{i=n1}^{n2} B_i \cdot \exp(\lambda_i / \lambda) \quad \cdots (3)$$

$$\lambda = a \sqrt{(\epsilon_{Si} / \epsilon_{ox}) \cdot t_{ox} \cdot x_j} \quad \cdots (4)$$

$$\lambda = b \cdot \xi / (d \xi / dx) \quad \cdots (5)$$

$$\xi = |E| \quad \cdots (6)$$

\* 【請求項 1 5】 デバイスシミュレーション装置であつて、

与えられた半導体デバイス内部の電位の下でボルツマン輸送方程式を解いて正確な衝突電離係数を求めるためのボルツマン輸送方程式計算手段と、

前記ボルツマン輸送方程式以外の種々の衝突電離係数計算方法を実行するための衝突電離係数計算手段と、

10 前記ボルツマン輸送方程式計算手段によって求められた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を算出し得る前記衝突電離係数計算方法を選択するための衝突電離係数計算方法選択手段と、

電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度を含む巨視的物理量の少なくとも 1 つを計算するための巨視的物理量計算手段と、

前記デバイスシミュレーション装置全体を制御するための計算制御手段とを含み、

前記衝突電離係数計算方法選択手段によって特定の衝突電離係数計算方法が選択された後は、前記衝突電離係数計算手段は前記選択された特定の衝突電離係数計算方法によって衝突電離係数を計算することを特徴とするデバイスシミュレーション装置。

20

【請求項 1 6】 前記衝突電離係数計算方法選択手段は、以下の数式グループ (G1) ~ (G8) の 1 つを選択し、

(G1) : 数式 (1), (2), (4) および (6)

(G2) : 数式 (1), (2), (4) および (7)

(G3) : 数式 (1), (2), (4) および (8)

(G4) : 数式 (1), (2), (5) および (6)

(G5) : 数式 (1), (2), (5) および (7)

30

(G6) : 数式 (1), (2), (5) および (8)

(G7) : 数式 (1), (3), (4) および (6)

(G8) : 数式 (1), (3), (4) および (7)

(G9) : 数式 (1), (3), (4) および (8)

(G10) : 数式 (1), (3), (5) および (6)

(G11) : 数式 (1), (3), (5) および (7)

(G12) : 数式 (1), (3), (5) および (8)

【数 2】

$$\xi = |E \cdot J| / |J| \quad \cdots (7)$$

$$50 \quad \xi = w \quad \cdots (8)$$

ここで、 $A$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $B_i$ 、 $\lambda_i$  および  $\xi_i$  はフィッティングパラメータ、 $n_1$  および  $n_2$  は有限の整数、 $E$  は電界ベクトル、 $J$  は電流ベクトル、 $w$  はキャリアの平均エネルギーまたはキャリア温度、 $\epsilon_{si}$  は半導体基板の誘電率、 $\epsilon_{ox}$  はゲート絶縁膜の誘電率、 $t_{ox}$  はゲート絶縁膜の厚さ、そして  $x_j$  はドレイン接合の深さを表わすことを特徴とする請求項 15 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 17】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段はモンテカルロ法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて電位とキャリア濃度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 18】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段はモンテカルロ法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はハイドロダイナミックモデル計算手段またはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて電位、キャリア濃度およびキャリア温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 19】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段はモンテカルロ法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 20】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段はモンテカルロ法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデル計算手段またはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 21】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の反復解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて電位とキャリア濃度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 22】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の反復解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はハイドロダイナミックモデル計算手段またはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて電位、キャリア濃度およびキャリア温度を計算すること

を特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 23】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の反復解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 24】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の反復解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデル計算手段またはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 25】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の級数展開解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式と電流連続方程式とを連立させて電位とキャリア濃度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 26】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の級数展開解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段はハイドロダイナミックモデル計算手段またはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて電位、キャリア濃度およびキャリア温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 27】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の級数展開解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【請求項 28】 前記ボルツマン輸送方程式計算手段は分布関数の級数展開解法計算手段であり、前記巨視的物理量計算手段は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデル計算手段またはまたはエネルギー輸送モデル計算手段であってポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度を計算することを特徴とする請求項 16 に記載のデバイスシミュレーション装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は半導体デバイスの電気的特性をシミュレートするためのデバイスシミュレーションに関し、特に、衝突電離現象とそれに付随する電気的特性を予測するためのデバイスシミュレーションにおける計算時間の短縮化と精度の改善に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】一般に、半導体デバイスの製造を行なう場合に、実際にデバイスを試作する前に計算機によるデバイスシミュレーションが広く行なわれている。デバイスシミュレーションは、与えられたデバイスの物理的形狀および不純物分布に基づいて、デバイス内部のキャリアのふるまいを推定してデバイス特性を求めるものである。

【0003】半導体デバイスの微細化に伴ってデバイス内部の電界が増大するので、高電界によって加速されたキャリア（ホットキャリア）によるデバイスの劣化が大きな問題となってきた。デバイスシミュレーションは、デバイス内部のキャリアのふるまいに関する情報を得ることができるので、デバイス劣化に対する知見を得るための有力な方法である。衝突電離現象は高エネルギーのキャリアによって結晶格子から電子-正孔対が発生する現象であり、ホットキャリアによって起こされる代表的な現象である。この衝突電離現象は半導体デバイスの劣化と深く関係しているので、微細化した半導体デバイスのシミュレーションを正確に行なうためには、衝突電離現象を正確に表わす必要がある。

【0004】デバイスシミュレーションでは、次のような解析方法（A1）～（A5）がある。

【0005】（A1） ドリフト-拡散モデル

\* 30

$$J = -n \cdot q \cdot \mu \cdot \nabla \phi + q \cdot D_d \cdot \nabla n \cdots (12a)$$

$$(\partial n / \partial t)_{\text{cro}} = \alpha \cdot |J/q| + (\partial n / \partial t)_{\text{cro}} \cdots (12b)$$

ここで、 $\mu$ はキャリアの移動度、 $D_d$ は拡散係数、そして $(\partial n / \partial t)_{\text{cro}}$ は衝突電離以外の機構によるキャリアの正味の生成割合を表わしている。

【0011】解析方法（A1）のドリフト-拡散モデルは、他の解析方法（A2）～（A5）のいずれよりも短い計算時間で解を得ることができる。ただし、解析方法（A1）ではキャリアのエネルギーに関する情報が得られないので、ホットキャリアのふるまいを正確に予測することは困難である。

【0012】解析方法（A2）のハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルにおいては、ポアソン方程式（11）、電流連続方程式（12）および次のエネルギー保存方程式（13）を連立させて計算することによって、電位、キャリア濃度およびキャリアの平均エネルギー（またはキャリア温度）が求められる。

#### 【0013】

$$\nabla \cdot S = E \cdot J + n \cdot (\partial w / \partial t)_{\text{coll}} \cdots (13)$$

ここで、 $S$ はエネルギー流密度、 $E$ は電界、 $w$ はエネルギー

\*（A2） ハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル

（A3） 分布関数展開解法

（A4） 分布関数反復解法

（A5） モンテカルロ法

これらの解析方法（A1）～（A5）においては、後の方法ほど精度が高い。解析方法（A3）、（A4）および（A5）はボルツマン輸送方程式を解く方法であるので、キャリアの分布関数を求めることができる。

10 【0006】解析方法（A1）のドリフト-拡散モデルにおいては、次のポアソン方程式（11）と電流連続方程式（12）を連立させて計算することによって、電位とキャリア濃度が求められる。

$$\nabla \cdot D = \rho \cdots (11)$$

$$\nabla \cdot J = q \cdot (\partial n / \partial t)_{\text{cr}} \cdots (12)$$

式（11）において、 $D$ は電束密度を表わし、 $\rho$ は電荷密度を表わしている。電束密度 $D$ は次式（11a）で表される。

$$\text{【0008】 } D = -\epsilon \cdot \nabla \phi \cdots (11a)$$

20 ここで、 $\phi$ は電位を表わし、 $\epsilon$ は誘電率を表わしている。また、式（11）における電荷密度 $\rho$ は、正孔密度、電子密度、ドナー密度、およびアクセプタ密度から決められる。

【0009】式（12）において、 $J$ は電流密度、 $q$ は素電荷、 $n$ はキャリア密度、 $(\partial n / \partial t)_{\text{cr}}$ はキャリアの正味の生成割合を表わしている。電流密度とキャリアの正味の生成割合とは、それぞれ次式（12a）と（12b）で表わされる。

#### 【0010】

ギ、そして $(\partial w / \partial t)_{\text{coll}}$ はキャリアの散乱によるエネルギーの変化割合を表わしている。この解析方法（A2）のハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルにおいては、キャリアの平均エネルギーがわかるので、解析方法（A1）のドリフト-拡散モデルに比べてホットキャリア現象の予測精度が向上する。なお、解析方法（A2）においては非線形性の強いエネルギー保存方程式を解かなければならないので、解析方法（A1）のモデルに比べて計算時間が増大し、収束性も悪化する。解析方法（A1）と（A2）のモデルにおいては、ともに、キャリアに関する平均値（キャリア濃度、キャリア平均エネルギー）のみが扱われる。

【0014】解析方法（A3）の分布関数展開法においては、キャリアの運動量空間での分布が適当な関数系で展開して表現され、その展開式中の係数が解析デバイス内の各点に関して計算される。この分布関数展開法では運動量空間でのキャリア分布を知ることができるが、正確なキャリア分布を知るためには、展開に使用する関数

系や展開項数の選択を注意深く行なう必要がある。

【0015】解析方法(A4)の分布関数反復解法においては、運動量空間が離散化され、各離散化点におけるキャリア分布を電界による加速と各種散乱機構による散乱によって反復的に変化させてキャリアの分布が求められる。

【0016】解析方法(A5)のモンテカルロ法においては、電界による加速と各種散乱機構による散乱とによって個々のキャリアを運動量空間と実空間とにおいて運動させ、それらの結果を統計処理することによってデバイス内のキャリアのふるまいが求められる。このモンテカルロ法においては、個々のキャリアの運動を知ることができるので、ホットキャリア現象が最も精度よく解析され得る。他方、統計的に意味のある解を得るためには多数のキャリアの運動を長時間にわたって計算する必要があるため、解析方法(A1)や(A2)に比べて二桁以上長い計算時間を必要とする。

【0017】一般に、解析方法(A3)、(A4)および(A5)は解析方法(A1)および(A2)に比べて正確な解を得ることができるが、長い計算時間を必要とする。

【0018】前述のように、衝突電離現象はホットキャリアによって起こされる現象である。この現象によって生成したキャリアは基板電流やゲート電流の原因となる。ゲートに注入される電流はデバイスの劣化と密接に関連しているため、衝突電離現象を正確に見積もることはデバイスの長期信頼性の観点から重要である。

【0019】衝突電離はエネルギーの高いキャリアによって起こされるため、衝突電離の発生確率を求めるためには、キャリアのエネルギー分布を知ることが必要である。分布関数展開モデルやモンテカルロモデルを用いた計算ではキャリアのエネルギー分布を知ることができるため、衝突電離係数(1個のキャリアが単位長さを走行する間に衝突電離を起こす回数)を正確に知ることができる。他方、ドリフト-拡散モデルやハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルでは、キャリアのエネルギー分布がわからないため、何らかの近似を行なって衝突電離係数の計算を行なう必要がある。

【0020】現在広く行なわれているデバイスシミュレーションは、解析方法(A1)のドリフト-拡散モデルに基づいているが、このモデルではキャリアのエネルギー分布を知ることができない。ドリフト-拡散モデルを用いる場合に衝突電離係数 $\alpha$ を計算する方法として、計算すべき場所の電界の大きさの関数として $\alpha$ を表わす方法と、計算すべき場所に到達する電流あるいは電気力線をキャリアの走行方向と逆に辿って実効的な電界を計算する方法とがある。前者の方法は、電界が均一な場合のみ精度の高い解が得られる。実際の半導体デバイスの内部では電界が場所によって大きく変化しているため、この方法では精度の高い解が得られない。また後者の方法

では、衝突電離係数を計算することに電流あるいは電気力線を辿る必要があるため、衝突電離係数の計算に長い時間を必要とする。

#### 【0021】

【発明が解決しようとする課題】図5は、電界の大きさのみの関数として求められた衝突電離係数と、最も精度の高いモデルであるモンテカルロ法で求められた衝突電離係数との比較を示している。図5のグラフにおいて、横軸は電界Eの逆数( $\text{cm/MV}$ )を表わし、縦軸は衝突電離係数 $\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )を表している。図5において、電界Eは或る基準点から距離xにある場所に関して次の指数関数(14)で表わされると仮定されている。

$$\text{【0022】 } E = E_0 \cdot \exp(x/\lambda) \cdots (14)$$

ここで、 $\lambda$ は特性長を表わしている。このような電界の仮定の下において、グラフ中の直線5A、5B、5Dおよび5Eは、それぞれ $\lambda$ が $0.1 \mu\text{m}$ 、 $0.2 \mu\text{m}$ 、 $0.2 \mu\text{m}$ および $0.1 \mu\text{m}$ の場合について、モンテカルロ法によって求められた衝突電離係数を表わしている。他方、直線5Cは、電界の大きさのみの関数として求められた衝突電離係数を表わしている。

【0023】図5から、 $\lambda$ が正の場合、すなわち電界が増加している場合には、電界の大きさのみから求められた衝突電離係数(直線5C)は、モンテカルロ法で求められた正確な値(直線5Dや5E)よりも大きく見積もられていることがわかる。さらに、特性長 $\lambda$ の大きさに依存して $\ln \alpha$ と $1/E$ との間に異なる比例関係が成立していることがわかる。以上のことから、衝突電離係数を電界の大きさのみから求めることは精度が悪いことがわかる。

【0024】したがって、衝突電離係数を正確に計算するためには、電界の変化を考慮するために電流あるいは電気力線を辿る方法、エネルギー輸送モデルの方法、ボルツマン輸送方程式を解く方法などを用いる必要がある。しかし、これらの方法は、ドリフト-拡散モデルにおいて衝突電離係数を電界の大きさのみから求める方法に比べて計算時間が大幅に増大する。

【0025】このような先行技術の課題に鑑み、本発明は、精度の高い衝突電離係数を短時間で求めることができるデバイスシミュレーション方法を提供することを目的としている。

#### 【0026】

【課題を解決するための手段】本発明によるデバイスシミュレーション方法は、与えられた半導体デバイス内部の電位の下でボルツマン輸送方程式を解いて正確な衝突電離係数を求め、ボルツマン輸送方程式以外の衝突電離係数計算方法の複数の候補のすべてを用いて衝突電離係数を計算し、ボルツマン輸送方程式によって得られた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を算出し得る計算方式候補の1つを選択し、以後は、その選択された計算方法を用いて衝突電離係数が求められるこ

とを特徴としている。

【0027】本発明によるデバイスシミュレーション装置は、与えられた半導体デバイス内部の電位の下でボルツマン輸送方程式を解いて正確な衝突電離係数を求めるためのボルツマン輸送方程式計算手段と、ボルツマン輸送方程式以外の種々の衝突電離係数計算方法を実行するための衝突電離係数計算手段と、ボルツマン輸送方程式計算手段によって求められた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を算出し得る衝突電離係数計算方法を選択するための衝突電離係数計算方法選択手段と、少なくとも電位およびキャリア濃度を含む巨視的物理量を計算するための巨視的物理量計算手段と、デバイスシミュレーション装置全体を制御するための計算制御手段とを含み、衝突電離係数計算方法選択手段によって特定の衝突電離係数計算方法が選択された後は衝突電離係数計算手段はその選択された特定の衝突電離係数計算方法によって衝突電離係数を計算することを特徴としている。

#### 【0028】

【作用】本発明においては、まずボルツマン輸送方程式計算手段によって正確な衝突電離係数が求められる。衝突電離係数計算手段はボルツマン輸送方程式以外の種々の衝突電離係数計算方法を実行する。衝突電離係数計算方法選択手段は、ボルツマン輸送方程式から求められた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数計算方法を選択する。衝突電離係数計算方法が選択された後は、その選択された衝突電離係数計算方法を用いて衝突電離係数が求められる。したがって、本発明によれば、常にボルツマン輸送方程式を用いて衝突電離係数を求める場合に比べてはるかに短い計算時間で衝突電離係数を求めることができ、しかも、ボルツマン輸送方程式を用いたのと同様の高い精度の衝突電離係数を求めることができる。

#### 【0029】

【実施例】図1において、本発明の第1の実施例によるデバイスシミュレーション装置が概略的なブロック図で示されている。図1のシミュレーション装置は、ボルツマン輸送方程式計算手段1と、衝突電離係数計算方法選択手段2と、計算制御手段3と、衝突電離係数計算手段4と、電位、キャリア濃度などの巨視的物理量の計算手段5と計算パラメータ入力手段6と計算結果出力手段7を含んでいる。

【0030】ボルツマン輸送方程式計算手段1においては、ボルツマン輸送方程式を計算して厳密な衝突電離係数が求められる。衝突電離係数計算手段4においては、ボルツマン輸送方程式以外の衝突電離係数計算方法を用いて衝突電離係数が求められる。衝突電離係数計算方法を選択した2は、ボルツマン輸送方程式によって得られた正確な衝突電離係数に最良に近似し得る衝突電離係数を算出し得る衝突電離係数計算方法を選択する。衝突電

離係数計算方法選択手段2によって衝突電離係数計算方法が選択された後は、衝突電離係数計算手段4はその選択された衝突電離係数計算方法に基づいて衝突電離係数を計算する。巨視的物理量計算手段5は、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度を含む巨視的物理量を計算する。計算パラメータ入力手段6は、解析されるべきデバイスの構造やバイアス条件などに関するパラメータを読み込む。計算結果出力手段7は、シミュレーションの結果を表示する。計算制御手段3は、デバイスシミュレーション装置全体の制御を行なう。

【0031】図2は、デバイスシミュレーションの対象となる半導体デバイスの一例であるMOSFET（金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ）の断面構造を概略的に示している。図2のMOSFETにおいては、p型の半導体基板21の表面にn型のソース23とn型のドレイン24が形成されている。ソース23とドレイン24との間のチャネル領域上にはゲート酸化膜22が形成されている。ドレイン24は $x_j$ の接合深さを有し、ゲート酸化膜22は $t_{ox}$ の厚さを有している。基板21、ゲート酸化膜22、ソース23およびドレイン24には、それぞれ基板電位 $V_{sub}$ 、ゲート電位 $V_g$ 、ソース電位 $V_s$ およびドレイン電位 $V_d$ が印加されている。

【0032】図3は、図1のデバイスシミュレーション装置を用いて図2のMOSFETのデバイスシミュレーションを行なう手順を示すフローチャートである。すなわち、図1のデバイスシミュレーション装置は、図3のフローチャートに従ってシミュレーションを行なうように計算手段3によって制御される。

【0033】まず、図3のステップS1において、計算パラメータ入力手段6はファイルまたは端末入力装置から計算に必要なパラメータを読み込む。ステップS2において、巨視的物理量計算手段5は、離散化された格子点における電位、キャリア密度、キャリア温度および格子温度を計算する。ステップS3において、計算制御手段3は衝突電離係数計算方法が決定されているかどうかを判断する。もし衝突電離係数計算方法が未だ決定されていなければ、ステップS4へ進む。

【0034】ステップS4において、ボルツマン輸送方程式計算手段1はステップS2で求められた電位を用いてボルツマン輸送方程式を解く。このとき、ボルツマン輸送方程式は全解析領域について解かれてもよいし、半導体領域のみについて解かれてもよいし、電界の大きさが指定された値以上である領域のみについて解かれてもよいし、さらに解析領域から取出された一次元構造のみについて解かれてもよい。

【0035】次に、ステップS5において、衝突電離係数計算手段4は、ステップS7で用いられる衝突電離係数計算方法の全候補について衝突電離係数を計算する。衝突電離係数の計算方法の候補としては次の数式グルー



13

プ候補 (G 1) ~ (G 8) が挙げられる。

【0036】

- (G 1) : 数式 (1), (2), (4) および (6)  
 (G 2) : 数式 (1), (2), (4) および (7)  
 (G 3) : 数式 (1), (2), (4) および (8)  
 (G 4) : 数式 (1), (2), (5) および (6)  
 (G 5) : 数式 (1), (2), (5) および (7)  
 (G 6) : 数式 (1), (2), (5) および (8) \*

$$\alpha = A \cdot \exp \left\{ -B \cdot \left( \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi_0} \right) \right\} \quad \cdots (1)$$

$$B = \sum_{i=n1}^{n2} B_i \cdot (\lambda_i / \lambda)^i \quad \cdots (2)$$

$$B = \sum_{i=n1}^{n2} B_i \cdot \exp(\lambda_i / \lambda) \quad \cdots (3)$$

$$\lambda = a \sqrt{(\epsilon_{Si} / \epsilon_{ox}) \cdot t_{ox} \cdot x_j} \quad \cdots (4)$$

【0038】  $\lambda = b \cdot \xi / (d \xi / d x) \cdots (5)$

$\xi = |E| \cdots (6)$

$\xi = |E \cdot J| / |J| \cdots (7)$

$\xi = w \cdots (8)$

ここで、A、a、b、B<sub>i</sub>、λ<sub>i</sub> および ξ<sub>0</sub> はフィッティングパラメータ、n1 および n2 は有限の整数、E は電界ベクトル、J は電流ベクトル、w はキャリアの平均エネルギーまたはキャリア温度、ε<sub>Si</sub> は半導体基板 21 の誘電率、ε<sub>ox</sub> はゲート絶縁膜 22 の誘電率、t<sub>ox</sub> はゲート絶縁膜 22 の厚さ、そして x<sub>j</sub> はドレイン 24 の接合深さを表わしている。A、a、b、B<sub>i</sub>、λ<sub>i</sub> および ξ<sub>0</sub> として固定された値を用いてもよいし、ボルツマン輸送方程式を解いて求められた衝突電離係数の値にフィッティングするように定められた値を用いてもよい。

【0039】 ステップ S 6 において、衝突電離係数計算方法選択手段 2 は、複数の離散化点についてステップ S 4 で得られた衝突電離係数の値とステップ S 5 で計算された衝突電離係数を比較することによって、ステップ S 7 で使用する衝突電離係数計算方法を選択する。ステップ S 6 における選択は、以下の基準 (C 1) ~ (C 5) のいずれを用いてもよい。

【0040】 (C 1) 複数の離散化点についてステップ S 4 で求められた衝突電離係数とステップ S 5 で計算された衝突電離係数との絶対誤差の二乗和または相対誤差の二乗和が最小となる。

【0041】 (C 2) 複数の離散化点についてステップ S 4 で求められた衝突電離係数とステップ S 5 で計算された衝突電離係数の絶対誤差の絶対値の和または相対誤差の絶対値の和が最小となる。

【0042】 (C 3) 複数の離散化点についてステップ S 4 で求められた衝突電離係数とステップ S 5 で得られた衝突電離係数の対数を取った後の絶対誤差の二乗和

14

- \* (G 7) : 数式 (1), (3), (4) および (6)  
 (G 8) : 数式 (1), (3), (4) および (7)  
 (G 9) : 数式 (1), (3), (4) および (8)  
 (G 10) : 数式 (1), (3), (5) および (6)  
 (G 11) : 数式 (1), (3), (5) および (7)  
 (G 12) : 数式 (1), (3), (5) および (8)

【0037】

【数 3】

または相対誤差の二乗和が最小となる。

20 【0043】 (C 4) ステップ S 4 で得られた衝突電離係数とステップ S 5 で計算された衝突電離係数の対数と取った後の絶対誤差の絶対値の和または相対誤差の絶対値の和が最小となる。

【0044】 (C 5) 入力で指定された衝突電離係数計算方法を用いる。ここで、選択基準 (C 5) を用いる場合には、ステップ S 4 とステップ S 5 は不要となる。

【0045】 ステップ S 6 の後はステップ S 2 に戻り、得られている衝突電離係数を用いて各点での電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が計算される。その後ステップ S 3 に進むが、既に衝突電離係数計算方法が選択されているので、ステップ S 7 へ進む。ステップ S 7 において、選択されている衝突電離係数計算方法に従って新たな衝突電離係数が計算される。その後ステップ S 8 に進み、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が収束したか否かが判断され、収束していない場合には再びステップ S 2 へ戻る。

【0046】 すなわち、ステップ S 2 からステップ S 8 の間を反復する間に、電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が変化するので、各点における衝突電離係数 α の値も変化する。ステップ S 2 においては、衝突電離によるキャリアの生成割合が α · |J| / q を用いて計算される。

【0047】 なお、図 3 のフローチャートでは、ステップ S 2 からステップ S 8 までの反復ごとに衝突電離係数がステップ S 7 において計算されているが、衝突電離係数は数回の反復ごとに計算されてもよい。

【0048】 次の表 1 は、本発明の実施例 1 から実施例 13 までにおける主要な相違点を要約して示している。

【0049】

【表 1】

50

実施例	正確な衝突電離係数の計算	巨視的物理量の計算
1	ボルツマン輸送方程式	電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度の計算
2	モンテカルロ法	ドリフト-拡散モデル
3	モンテカルロ法	ハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル
4	モンテカルロ法	格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル
5	モンテカルロ法	格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル
6	分布関数の反復解法	ドリフト-拡散モデル
7	分布関数の反復解法	ハイドロダイナミックモデルまたはドリフト-拡散モデル
8	分布関数の反復解法	格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル
9	分布関数の反復解法	格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル
10	分布関数の級数展開解法	ドリフト-拡散モデル
11	分布関数の級数展開解法	ハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル
12	分布関数の級数展開解法	格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル
13	分布関数の級数展開解法	格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデル

【0050】すなわち、実施例2においては、図1中のボルツマン輸送方程式計算手段1がモンテカルロ法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段5がドリフト-拡散モデル計算手段で置き換えられる。したがって、実施例2では、図3のステップS2においてドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式を連立させて計算することによって、各点における電位とキャリア濃度が求められる。またステップS4においては、ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれる。

【0051】実施例3においては、図1中のボルツマン輸送方程式計算手段がモンテカルロ法計算手段によって置き換えられ、巨視的物理量計算手段5がハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段で置き換えられる。したがって、図3中のステップS2においてはハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー輸送方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度およびキャリア温度が求められる。また、ステップS4においては、ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれる。

【0052】実施例4においては、図1中のボルツマン輸送方程式計算手段1がモンテカルロ法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段5は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル計算手段で置き換えられる。したがって、図3におけるステップS2においては、格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を

連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度および格子温度が求められる。また、ステップS4においては、ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれる。

【0053】実施例5においては、図1中のボルツマン輸送方程式計算手段1がモンテカルロ法計算手段に置き換えられ、巨視的物理量計算手段5は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段で置き換えられる。したがって、図3中のステップS2においては、格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が求められる。また、ステップS4においては、ボルツマン輸送方程式はモンテカルロ法を用いて解かれる。

【0054】実施例6においては、図1中のボルツマン輸送方程式計算手段1が分布関数の反復解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段5はドリフト-拡散モデル計算手段で置き換えられる。したがって、図3中のステップS2においては、ドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式を連立させて計算することによって、各点における電位およびキャリア濃度が求められる。またステップS4においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の反復解法によって解かれる。

【0055】実施例7においては、図1中のボルツマン

輸送方程式計算手段 1 が分布関数の反復解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 はハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段で置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 において、ハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度およびキャリア温度が求められる。またステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の反復解法によって解かれる。実施例 8 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の反復解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルの計算手段によって置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 においては格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度および格子温度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の反復解法によって解かれる。

【0056】実施例 9 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の反復解法計算手段によって置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段によって置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 において、格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の反復解法によって解かれる。

【0057】実施例 10 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の級数展開解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 はドリフト-拡散モデル計算手段によって置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 においては、ドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式と電流連続方程式を連立させて計算することによって、各点における電位とキャリア濃度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の級数展開解法によって解かれる。

【0058】実施例 11 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の級数展開解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 はハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段で置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 においては、ハイドロダイナミックモデルまたはエ

ネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式およびエネルギー保存方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度およびキャリア温度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法によって解かれる。

【0059】実施例 12 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の級数展開解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 は格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデル計算手段で置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 においては、格子熱伝導を考慮したドリフト-拡散モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度および格子温度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式は分布関数の級数展開解法によって解かれる。

【0060】実施例 13 においては、図 1 中のボルツマン輸送方程式計算手段 1 が分布関数の級数展開解法計算手段で置き換えられ、巨視的物理量計算手段 5 は格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルの計算手段で置き換えられる。したがって、図 3 中のステップ S 2 においては、格子熱伝導を考慮したハイドロダイナミックモデルまたはエネルギー輸送モデルを用いてポアソン方程式、電流連続方程式、エネルギー保存方程式および格子熱伝導方程式を連立させて計算することによって、各点における電位、キャリア濃度、キャリア温度および格子温度が求められる。また、ステップ S 4 においては、ボルツマン輸送方程式が分布関数の級数展開解法によって解かれる。

【0061】図 4 は、MOSFET のゲート電圧と基板電流との関係についての実験結果とシミュレーション結果を示している。図 4 のグラフにおいて、横軸はゲート電圧  $V_g$  (V) を表わし、縦軸は基板電流  $I_{sub}$  (A) を表わしている。曲線 4A はドリフト-拡散モデルのみを用いた従来のシミュレーション結果を表わしている。曲線 4B は、正確な衝突電離係数の計算にはモンテカルロ法を用いかつ巨視的物理量の計算にはドリフト-拡散モデルを用いる実施例 2 によるシミュレーション結果を示している。そして、曲線 4C は実験結果を示している。図 4 から、本発明によるデバイスシミュレーションでは、従来のシミュレーションに比べて実験結果により近い計算結果が得られることが理解されよう。

【0062】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、従来のデバイスシミュレーションに比べて精度の高いシミュレーション結果をあまり計算時間を増大させることなく得ることができるデバイスシミュレーション方法および装置を提供することができる。すなわち、本発明によるデバイスシミュレーション方法および装置によれば、常に

最適な衝突電離係数計算方法を得ることができ、一旦衝突電離係数計算方法が決定されれば、従来と同様な計算時間で高精度のシミュレーション結果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施例によるデバイスシミュレーション装置の構成を示す概略的なブロック図である。

【図 2】 デバイスシミュレーションの対象となる半導体デバイスの一例である MOSFET を示す概略的な断面図である。

【図 3】 本発明の第 1 実施例によるデバイスシミュレーションの手順を示すフローチャートである。

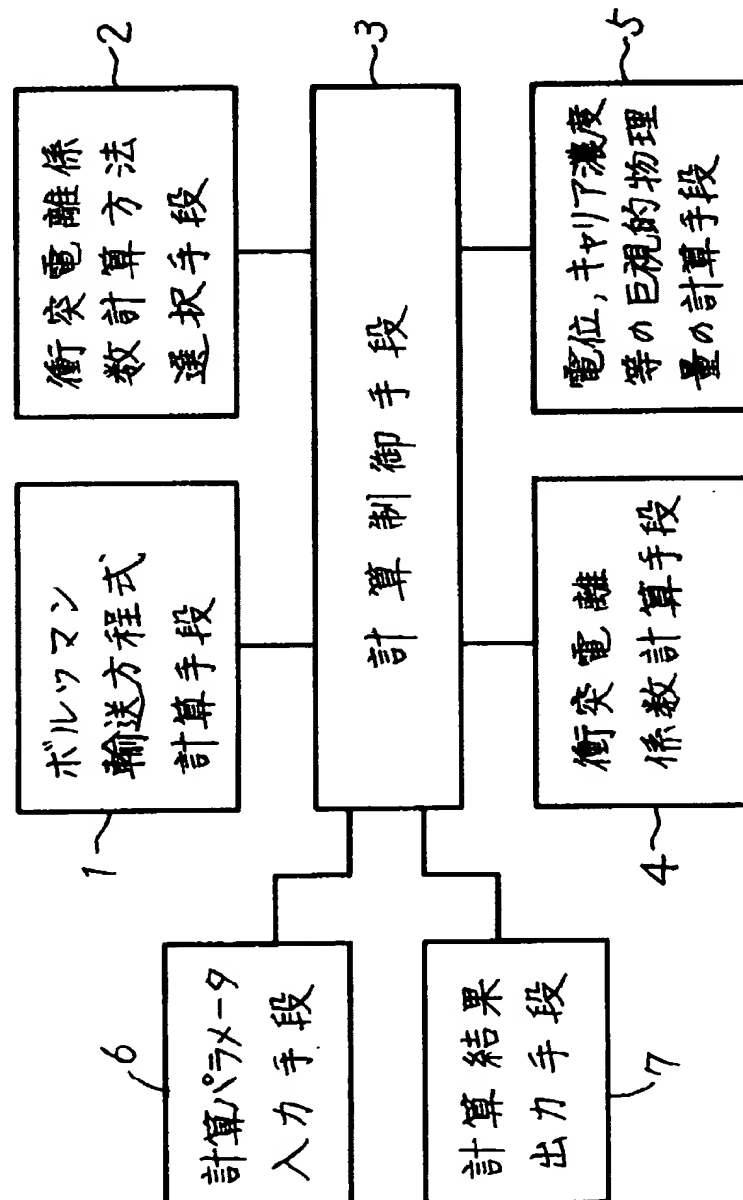
\* 【図 4】 MOSFET のゲート電圧と基板電流との関係についてのシミュレーション結果と実験結果を示すグラフである。

【図 5】 電界の変化によって衝突電離係数が変化することを示すグラフである。

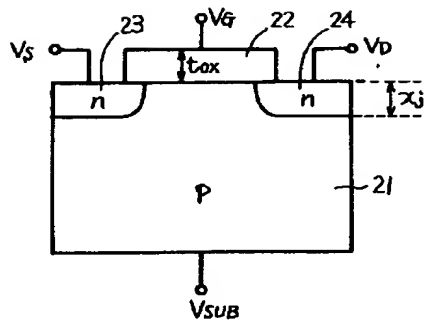
【符号の説明】

1 ボルツマン輸送方程式計算手段、2 衝突電離係数計算方法選択手段、3 計算制御手段、4 衝突電離係数計算手段、5 巨視的物理量の計算手段、6 計算パラメータ入力手段、7 計算結果出力手段、21 半導体基板、22 ゲート絶縁膜、23 ソース領域、24 ドレイン領域。

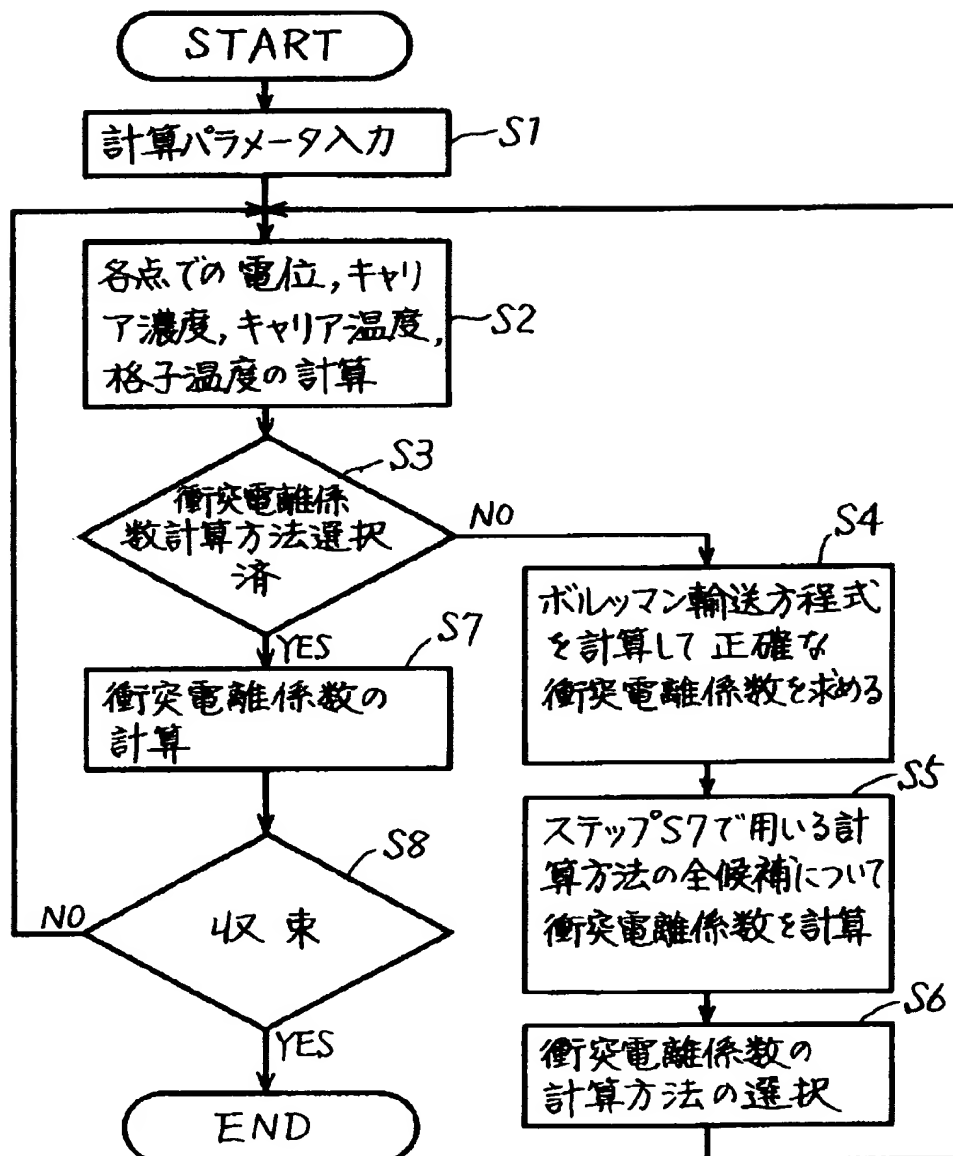
【図 1】



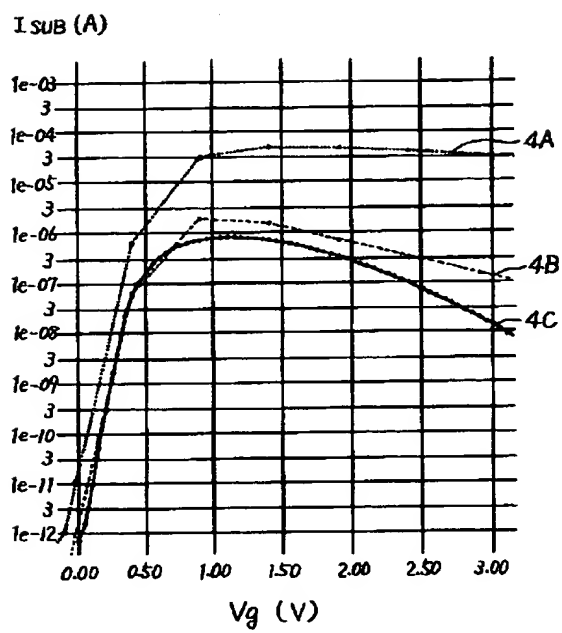
【図 2】



【図 3】



【図4】



【図5】

